

Introduction à l'étude géotechnique :

1.1 Généralité

La reconnaissance est définie comme l'identification et la caractérisation des couches constituant le dépôt de sol supportant la structure à construire (stratigraphie)

L'objectif de la reconnaissance et de l'exploration des sols est de collecter l'information nécessaire qui va aider l'ingénieur géotechnicien dans :

- Sélection du type et de la profondeur de la fondation de la structure à construire;
- Évaluation de la capacité portante de la fondation;
- Estimation du tassement probable de la structure;
- Détermination des problèmes possibles (sols gonflants, sols collapsant , dépôts sanitaires etc...)
- Détermination de la position de la nappe d'eau (les conditions sont-elles hydrostatiques ou y a-t-il un écoulement dans le sol?)
- Détermination de la pression latérale pour les ouvrages de soutènements;
- Établissement d'une méthode de construction pour changer les conditions du sol . L'exploration est également nécessaire pour les structures souterraines et les excavations. Elle peut être nécessaire lorsqu'il faut effectuer des changements ou des ajouts dans une structures

1.2 Type d'information

Trois étapes sont souvent indispensables dans une campagne d'exploration :

- Ø Collecte des informations préliminaires
- Ø Reconnaissance du site
- Ø Investigation et exploration

2.1 Informations disponibles

Il est important de débiter par une cueillette des informations disponibles sur le site ainsi que sur le type de structure à bâtir et de son utilité. Il est généralement possible de recueillir des informations à l'aide de :

- § Cartographie (cartes géologiques) des dépôts meubles et du roc;
- § Photographies aériennes (intéressant pour les projets d'envergure);
- § Cartes topographiques (nature du terrain relief);
- § Études géotechniques effectuées dans le voisinage;

2.2 Reconnaissance du site

L'ingénieur doit toujours effectuer une inspection visuelle du site pour pouvoir se faire une meilleure idée sur sa nature :

- Type de végétation dans le site (peut donner d'excellentes indications);

- La topographie générale du site et la possible existence de fossés de drainage.
- L'existence de débris ou de matériaux quelconques;
- Type de constructions avoisinantes et l'existence de problèmes (fissures dans les murs, tassements ou autres problèmes);
- Le niveau de la nappe d'eau qui peut être déterminé en regardant au voisinage;
- Stratigraphie du sol à partir de tranchées profondes effectuées pour la construction d'une route ou d'un chemin de fer avoisinant;
- Présence de roc ou d'affleurement rocheux dans les environs, peut indiquer la faible profondeur du socle rocheux

Exploration et caractérisation

2.3.1 Profondeurs des forages

À l'étape de l'exploration et de la reconnaissance il faut planifier :

- ü Le nombre de forages;
- ü Les profondeurs des forages;
- ü Le type d'essais à effectuer soit sur le site ou au laboratoire;
- ü Le nombre d'échantillons nécessaire.
- § Déterminer l'augmentation de la contrainte, D_s , sous la fondation;
- § Estimer la variation de la contrainte effective verticale $s'v_0$;
- § Déterminer la profondeur $D = D_1$ où $D_s/q = 10 \%$
- § Déterminer la profondeur $D = D_2$ où $D_s/s'v_0 = 5 \%$
- § La profondeur la plus faible entre D_1 et D_2 définit la profondeur minimale du

forage

Pour les hôpitaux et les édifices gouvernementaux

- $D_f = 3S_0,7$ (pour les structures en acier légères ou en béton rapproché);
- $D_f = 6S_0,7$ (pour les structures en acier lourdes ou en béton éloigné);
- S étant le nombre d'étages.

Pour les excavations, la profondeur du forage doit être au moins 1,5 fois la profondeur de l'excavation

Pour les fondations sur roc la profondeur du forage doit être de 3 m. Si le roc est altéré le forage doit être plus profond (généralement 6 m).

2.3.2 Nombre de forages

Le nombre de forages dépend :

- § Nature de la structure;
- § Dimensions de la structure;
- § Coût de la structure (l'étude géotechnique doit généralement coûter entre 0,1% et 0,5% du prix de la structure).

3.1 Méthodes de sondage

3.1.1 Sondage peu profond

§ Les tarières manuelles (à vis ou à cuillère) peuvent être utilisées pour des sondages peu profonds (3 à 5 m).

§ S'il y a des cailloux les tarières manuelles deviennent difficiles à utiliser. Il faut alors faire des tranchées à l'aide d'une pelle.

§ Pour les matériaux facilement pénétrables comme la tourbe et l'argile molle on peut se

limiter à utiliser des tiges pour mesurer la profondeur de la couche.

Ces types de sondages ne permettent qu'une simple identification de la nature des matériaux dans les couches peu profondes. Il sont surtout utilisés dans les études préliminaires, comme par exemple la phase I de reconnaissance dans une étude environnementale. Il sont également très utilisés dans l'exploration pour la recherche de bancs d'emprunt.

3.1.2 Sondage profond conventionnel -foreuse mécanique

Depuis une vingtaine d'années on utilise des foreuses équipées d'une tarière à vis de grand diamètre. Cette tarière comporte en son centre un tube évidé qui permet de réaliser des essais (SPT par exemple) et de prélever des échantillons. L'utilisation de ce type de foreuse requiert toutefois un moteur puissant et comporte des limitations quant à la profondeur pouvant être atteinte.

3.1.3 Sondage profond traditionnel

Avec une foreuse traditionnelle le forage est réalisé par lavage et la paroi du trou de forage est maintenue stable à l'aide d'un tubage. Le tubage peut être enfoncé soit par rotation ou par battage. La vidange du tubage est habituellement faite par lavage. L'appareil de lavage peut être muni de dispositifs permettant de briser les particules (trépan).

3.1.4 Essai de pénétration standard (SPT)

L'essai de pénétration standard est probablement l'essai le plus utilisé en géotechnique pour la caractérisation des sols granulaires. Il consiste en l'enfoncement par battage d'une cuillère normalisée (cuillère fendue) attachée à l'extrémité inférieure des tiges. Le marteau (63,5 kg) et la hauteur de chute (760 mm) sont aussi normalisés.

a) Procédure de l'essai SPT:

- 1) Nettoyer par lavage jusqu'au fond du trou
- 2) Enfoncer par battage la cuillère fendue
- 3) Compter le nombre de coups requis pour un enfoncement de 15 cm –répéter

3 fois.

4) La valeur de N est la somme des deux derniers 15 cm. En plus de procurer une indication sur la résistance du sol, l'essai permet de récupérer un échantillon dans le rapport de forage le nombre de coups pour chaque 15 cm de pénétration doit être indiqué. Exemple ($N = 32 + 28 = 60$). S'il y a refus avant que l'enfoncement soit complété on doit essayer de donner des précisions.

a) 22-100/5cm; b) 22-60 refus; c) 22-refus sur bloc.)

On considère qu'il y a refus si plus de 30 coups sont requis pour pénétrer de 1 cm. Si le sol traversé contient des cailloux et des blocs, les valeurs de N seront facilement faussées (plus élevées). Il faut utiliser ces valeurs avec discernement. L'essai doit se faire au moins à chaque 1,5 m.

3.1.4 Essai de pénétration standard (SPT)

b) Correction de la valeur de N

Les valeurs de N déterminées lors des essais SPT sont rapportées telles quelles dans le rapport de forage. Cependant lorsqu'on utilise ces valeurs il faut vérifier s'il est nécessaire d'apporter une correction pour tenir compte de l'effet de confinement. En réalité il ne s'agit pas d'une correction mais d'une normalisation de N pour une même pression de confinement de 100 kPa.

4.0 Conditions de l'eau dans le sol

Le niveau de la nappe d'eau dans le sol est mesuré à l'aide d'un tube d'observation de la nappe alors que la pression de l'eau est mesurée à l'aide d'un piézomètre.

Le tube d'observation est un simple tube en PVC le long duquel on fait des petits trous dans le tiers inférieur. Idéalement, après l'avoir déposé dans le trou de forage on l'enrobe de sable. Le niveau mesuré dans le tuyau correspond après un certain temps (dépend de la perméabilité) à celui de la nappe d'eau dans le sol.

Le piézomètre est constitué d'un tuyau étanche à l'extrémité duquel on a fixé un capteur poreux appelé piézomètre. Après avoir descendu ce dispositif dans le trou de forage il faut mettre en place un matériau imperméable juste au-dessus du piézomètre de façon à isoler la pointe du piézomètre des conditions prévalant au dessus.

5.0 Rapport de forage

Le rapport de forage doit comporter les informations suivantes :

- Une description de la stratigraphie : couches, nature du sol, épaisseurs
- Des indications sur la résistance à l'enfoncement du tubage;
- La localisation des échantillons et des essais;
- Les résultats des essais de pénétration standard;
- Les longueurs de récupération / longueur d'enfoncement;
- La position de la nappe d'eau;
- Les résultats des essais de laboratoire et de terrain;
- Les observations spéciales en cours de forage. Dans les deux pages suivantes

des exemples de rapports de forages dans l'argile et dans les sols granulaires sont présentés.

LA MÉCANIQUE DES SOLS ET SES APPLICATIONS EN INGÉNIERIE

1.1 - DÉFINITIONS ESSENTIELLES

Roche

En géotechnique, une roche est un agrégat naturel massif de matière minérale. En géologie, on appelle roche tout élément constitutif de l'écorce terrestre. Cela recouvre donc les roches au sens géotechnique, mais aussi le sol, le pétrole, l'eau des nappes, etc.

Sol

Le sol est défini par opposition au mot roche, dans sa définition géotechnique. C'est un agrégat naturel de grains minéraux, séparables par une action mécanique légère. Le sol est le résultat d'une altération naturelle physique ou chimique des roches. On conçoit donc que la limite entre un sol et une roche altérée ne soit pas définie nettement. Le sol est un matériau meuble, ce caractère étant fondamental. Il ne suffit cependant pas à définir un sol naturel car certains matériaux produits par l'homme présentent aussi ce caractère. Par exemple les sous produits miniers et les granulats concassés (sable, gravier, ballast...) sont aussi des matériaux meubles. Le mécanicien des sols

étudie donc aussi bien des sols naturels que des matériaux fabriqués artificiellement à partir de sols ou de roches et présentant un caractère meuble.

Mécanique des sols

La mécanique des sols est l'application des lois mécaniques et hydrauliques au matériau sol. Comparé aux nombreux autres matériaux étudiés en mécanique, les bétons, les aciers, les

plastiques, le bois..., le sol présente deux originalités. C'est tout d'abord un milieu discontinu qu'il faudra donc étudié à la fois dans sa globalité et dans sa composition élémentaire. D'autre part, c'est un matériau triphasique formé de grains solides, d'eau et d'air. Nous verrons que les phases non solides jouent un rôle fondamental.

Sciences proches de la mécanique des sols

Par certains aspects, la mécanique des sols est proche de la mécanique des milieux continus qui étudie de nombreux matériaux comme l'acier, le bois, les bétons, les plastiques dont la plupart sont artificiels et donc de constitution bien connue. Par d'autres aspects, elle est proche des disciplines qui étudient les milieux minéraux naturels : la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique des roches. La géotechnique regroupe ces dernières disciplines.

1.2 - DOMAINES D'APPLICATION:

Les domaines d'application de la mécanique des sols sont nombreux et variés. Ils concernent la profession des travaux publics, ainsi que celle du bâtiment.

1.2.1 - Milieux naturels

Le domaine d'application de la mécanique des sols ne se limite pas aux constructions ; il comprend également des milieux naturels tels que les versants (problèmes de glissement de terrain) et les berges de cours d'eau ou de retenues.

1.2.2 - Ouvrages en sol

Les ouvrages où le sol est le matériau de base sont aussi bien :

- les remblais (routes, voies ferrées, barrages, digues de bassins en terre, plates-formes maritimes...) ;
- ou des déblais (talus, canaux, bassins...).

1.2.3 - Ouvrages mixtes

Dans les ouvrages mixtes, le sol intervient en relation avec un autre matériau, le béton ou l'acier par exemple. Les conditions d'ancrage dans le sol sont souvent primordiales pour des ouvrages tels que :

- les murs de soutènements (béton, terre armée, sol renforcé par géotextile...) ;
- les palplanches utilisées dans les canaux, les ports, les constructions urbaines... ;
- les parois moulées (à fonction étanchéité ou à fonction soutènement)

1.2.4 - Fondations d'ouvrages ou de bâtiments

Dans l'étude des fondations, le sol et l'ouvrage ne constituent pas un ensemble mixte, mais deux ensembles dont il s'agit de connaître les interactions. Les mécaniciens des sols distinguent :

- les fondations superficielles (semelles ou radiers) ;
- les fondations profondes (pieux, puits, barrettes).

Tous les ouvrages tels que châteaux d'eau, stations d'épuration, silos, barrages en terre ou en béton, murs de soutènement... doivent faire impérativement l'objet d'une étude de fondation qui permettra de déterminer la profondeur de la fondation et les dimensions de la base de l'ouvrage. Ceci est trop souvent négligé et de nombreux désordres graves en ont résulté.

1.3 - HISTORIQUE SUCCINCT

La mécanique des sols est une science jeune. Les premiers fondements peuvent être attribués à COULOMB (1773), mais TERZAGHI a véritablement initié la mécanique des sols moderne (1936).

La mécanique des roches est une science encore plus jeune dont on peut dater les réels débuts dans les années soixante, en particulier suite à la catastrophe de Fréjus (barrage de Malpasset).